Données sur l'activation et le démontage définitif du synchrocyclotron de 155 MeV de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (*)

R. CHOQUET (**) et F. CLAPIER (***)

(Manuscrit reçu le 2 février 1979)

RÉSUMÉ

Après vingt ans de fonctionnement, le démontage définitif du Synchrocyclotron de 155 MeV proton a conduit à déterminer les conditions de travail et à examiner le devenir des matériels radioactifs du fait de l'activation par les particules directement ou indirectement ionisantes. On décrit la conduite de démontage et le tri du matériel radioactif après examen des données sur les analyses d'activation et des méthodes de mesures indirectes adoptées. De cette expérience découlent des suggestions liées en particulier au fait que, si la limitation des doses du personnel est un objectif atteint, on s'aperçoit que des solutions restent encore à trouver pour retraiter de grandes quantités de métaux d'activité spécifique relativement faible : le traitement des déchets devrait pouvoir être résolu de façon beaucoup plus satisfaisante tant du point de vue économique qu'écologique.

ABSTRACT

After twenty years of operation, the dismantling of a 155 MeV proton Synchrocyclotron led to define working conditions and to examine the final destination of materials affected by radioactivation by direct or indirect ionizing radiation. The dismantling operation and the separation of radioactive material after consideration of activation analysis data and indirect measuring methods adopted are described. Arising from this experience suggestions are made, for if personnel dose limitation is attained, it appears that solutions must still be found to process important amounts of metals of rather small specific activity; it should be possible to handle the treatment of waste much more satisfactorily in terms of cost and ecology.

(*) Communication présentée le 31 mars 1977 au cours d'une journée scientifique organisée conjointement par la S.F.R.P. et la S.F.E.N. sur le « déclassement et le démantèlement des installations nucléaires ».

(**) IN2 P3, 11, rue Pierre et Marie-Curie, 75005 Paris.

(***) Institut de physique nucléaire, S.M.P.R., B.P. n° 1, 91406 Orsay.

C'est à la demande d'Irène Joliot-Curie que fut décidée, en 1954, la construction du synchrocyclotron d'Orsay. Il délivra son premier faisceau, en interne le 4 juin 1958, et en externe en novembre de la même année.

Cet accélérateur, destiné à la recherche fondamentale et à l'enseignement de la physique nucléaire et de la radiochimie, a été définitivement arrêté le 19 mai 1975, après 17 ans de bons et loyaux services.

Au cours des années, ses caractéristiques et son régime de fonctionnement ont évolué. On retiendra, pour valeurs moyennes, les chiffres reportés sur le tableau I.

TABLEAU I

Particules accélérées	Énergie maximale (MeV)	Intensité (μ A)	
		Interne	Externe
Protons.....	155	3,8	0,15
Deutons.....	81	8,7	0,35
Alphas.....	165	5	0,20

Fonctionnement : une centaine d'heures par semaine en régime continu, avec la répartition moyenne en temps de 85 p. cent pour les expériences de physique sur le faisceau externe et 15 p. cent pour les irradiations en interne.

La radioactivité induite auprès d'un accélérateur provient pour l'essentiel des particules accélérées elles-mêmes et des neutrons produits par suite de l'interaction du faisceau sur la matière.

Les particules accélérées sont responsables des activités spécifiques les plus élevées, localisées en surface par la section du faisceau incident et, en profondeur, par le parcours des particules accélérées. En examinant le tableau II, on constate que les volumes ainsi activés sont peu importants.

TABLEAU II

PARCOURS DES PROTONS DE 155 MeV DANS DIFFÉRENTS MATÉRIAUX

Matériaux	Aluminium	Fer	Cuivre
Parcours (cm)...	8,10	3,20	2,90

La section du faisceau était le plus souvent comprise entre 1 et 3 cm.

Les neutrons, par leur grand pouvoir de pénétration, sont responsables de l'activation de tous les matériaux se trouvant à l'intérieur du hall de l'accélérateur et des salles de faisceaux. Les activités spécifiques des matériaux ainsi

irradiés sont, en général, beaucoup plus faibles que celles induites par les particules accélérées et diminuent plus on s'éloigne de la source de neutrons.

Tous les éléments de la machine devaient être démontés, excepté la culasse de l'aimant qui a subi seulement des modifications en vue de son utilisation dans le nouveau synchrocyclotron en cours de réalisation maintenant. Les pièces en saillie à l'intérieur de la chambre d'accélération, toutes plus ou moins soumises au bombardement des particules accélérées elles-mêmes, étaient les parties les plus actives de notre machine. Sur ces éléments, nous avons relevé des doses absorbées allant jusqu'à quelques dizaines de rads par heure à 5 cm de ces éléments.

La décision du démantèlement de l'accélérateur, quand elle a été annoncée au personnel, a créé des réactions psychologiques très fortes. Celles-ci ont pu être expliquées par le fait :

- que l'on n'avait jamais fait une telle opération dans l'Institut;
- que la machine, par son activité résiduelle, avait été responsable antérieurement de la majeure partie des doses subies par le personnel;
- que l'on faisait appel, pour le démontage des éléments les plus actifs à du personnel techniquement très compétent, mais habituellement peu ou pas exposé;
- que l'on avait décidé de faire également appel à des personnels d'entreprises extérieures.

Pourtant, plusieurs réunions ont été organisées pour indiquer aussi clairement que possible les conditions pratiques dans lesquelles se feraient les différentes opérations. On avait tenté d'expliquer que les doses subies par chacun des intervenants seraient très faibles et parfaitement contrôlées. Finalement, la tension qui existait au sein des personnels susceptibles d'être concernés s'est trouvée considérablement atténuée lorsqu'il a été décidé de ne faire appel qu'à des volontaires et que les premiers résultats de doses subies par les premiers intervenants furent connus.

L'estimation du risque faisait apparaître que cette question pouvait être décomposée en deux parties : ensemble des matériaux irradiés par les particules chargées, ensemble des matériaux activés par irradiation aux neutrons exclusivement. A ces deux ensembles, correspondaient des risques relatifs de 1 000 à 1 environ, c'est-à-dire des niveaux du rem et du millirem respectivement.

La machine proprement dite représentait une activité spécifique variable, mais une masse importante, ce qui accroît le risque. D'autre part, les éléments les plus actifs n'étaient souvent accessibles que dans des conditions difficiles, puisque situés dans une chambre de 3 m de côté, mais de 50 cm de haut, dans laquelle les opérateurs devaient pénétrer horizontalement. La situation était donc celle d'un travail dans un champ mixte de photons et de bêtas, la première composante, imposant une limitation en temps et en distance, la seconde une organisation du travail réduisant au minimum l'irradiation des extrémités par le choix d'outils et la mise en place de blindages locaux.

La contamination de la machine se limitait à des dépôts d'huile, souvent brûlée, des restes de cibles irradiées, des particules provenant de l'érosion

TABLEAU III
AUCUNE PERSONNE N'A ÉTÉ CONTAMINÉE

	Mécanique générale	Service Synchro.	Radio- protection (mesures physiques)
Nombre de personnes ayant dépassé le seuil de sensibilité du film dosimètre (> 20 mrem).....	9	12	7
Nombre de D.M.A.T. pour la personne ayant subi la plus forte dose du service.	0,1	0,06	0,07

de la machine réalisées en graphite. Il s'agissait donc d'une contamination en surface au départ. Pour l'intervention mécanique, on était en mesure de décontaminer toutes les parties métalliques de la machine.

TABLEAU IV

Matériaux (poids approximatif)	Acti- vation (*)		Activités maximales relevées après 2 mois de refroidissement (μCi/kg)								
	PA	N	²² Na	⁵¹ Cr	⁵⁴ Mn	⁵⁶ Co	⁵⁷ Co	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	
Élément : dee et anti-dee											
Cuivre (300 kg)...	×	-	-	-	3 900	7 500	20 400	22 900	3 100	2 580	
Élément : chambre d'accélération											
Acier inox (5 000 kg)..	-	×	-	100	225	25	90	90	20	-	
Élément : circuit magnétique : culasses, pôles											
Fer (650 000 kg)	-	×	-	-	40	-	0,25	0,25	2	-	
Élément : circuit magnétique : conducteur											
Aluminium (17 000 kg).	-	×	3	-	-	-	-	-	-	-	
(*) activé essentiellement par particules accélérées (PA) ou neutrons (N)											

Des réunions préparatoires au démantèlement de l'accélérateur ont été organisées avec les responsables du service de mécanique de l'I.P.N. et avec les personnels prévus pour les opérations de démontage, pour définir les techniques qui seraient employées et les durées estimées pour les différents travaux. Le travail prévu sous rayonnement a été classé en deux catégories : la première consistant à extraire les éléments les plus irradiants (canaux magnétiques, régénérateur, dee et anti-dee), la seconde, pour tous les autres éléments pour lesquels les conditions de travail seraient peu restrictives.

L'assistance de notre service et une collaboration efficace des personnels concernés a permis de limiter les doses individuelles à un niveau très bas. Sur le tableau III, on peut constater que personne n'a dépassé le dixième de la Dose Maximale Admissible Trimestrielle (D.M.A.T.).

Au-delà des conditions de travail à réunir pour effectuer le démontage, il restait à régler le problème du devenir des matériaux. Les éléments activés posent une série de problèmes différents :

- éléments présentant un risque d'irradiation de l'organisme entier au moment du travail;

- éléments présentant surtout un risque pour la manipulation (irradiation des extrémités en particulier);

- éléments devant être usinés par la suite;

- rebut devant être distingué selon son activité et pouvant nécessiter sa mise aux déchets radioactifs.

Le premier tri est donc celui entre cette dernière catégorie et les trois premières. Des analyses ont permis de confirmer que les activités massiques étaient très variables d'un élément à l'autre (tableau IV).

Le choix du détecteur destiné aux mesures sur le terrain a été guidé par différents essais réalisés à partir de tests effectués sur une centaine d'échantillons de nature et de configuration géométrique différentes. Ceux-ci avaient été préalablement analysés et les activités déterminées. Nous avons finalement adopté une sonde γ à cristal d'iodure de sodium associée à un intégrateur portatif.

Des correspondances ont pu être établies entre les taux de comptage relevés et les ordres de grandeur d'activités massiques. Nous avons adopté finalement la valeur de 500 ch/s pour 1 $\mu\text{Ci/kg}$, guidés essentiellement par les radioéléments présents dans le fer. Pour les autres matériaux, on a trouvé des valeurs jusqu'à dix fois plus importantes pour la même activité massique. Pour les pièces très actives, nous avons après différentes expérimentations décidé d'utiliser la chambre d'ionisation portative sous 300 mg/cm^2 . Il a été trouvé des valeurs relativement constantes pour tous les matériaux rencontrés situées autour de 500 mrad/h pour 1 mCi/kg .

Pour réaliser les mesures, il fallait se protéger de l'accélérateur et de la masse des pièces activées retirées de la machine. Nous avons donc utilisé des blocs de béton pour construire une casemate de mesure dans laquelle on opérerait à environ 15 m de la machine et 7 m des pièces stockées provisoirement dans l'attente du tri, dans une zone également entourée de 1 m de béton environ, balisée et fermant à clef.

Pour permettre un tri rationnel et assurer un maximum de garanties par la suite, il fallait tenir compte à la fois des critères déjà mentionnés et de la destination ultérieure des pièces; réutilisation interne ou externe, déchets radioactifs et éléments pouvant être remis dans le secteur public après accord du S.C.P.R.I.

Nous avons donc procédé à l'aide de bombes à peinture aérosol et pochoir au marquage suivant :

— l'indication « *VU* » a été portée sur des pièces qui ne présentaient aucune activité décelable afin qu'il soit évident pour tout le monde que l'échantillon avait été contrôlé;

— *trèfle jaune* : activité telle que l'on peut manipuler les pièces sans précautions particulières (activité jusqu'à $2 \mu\text{Ci/kg}$);

— *trèfle rouge* : activité supérieure à $2 \mu\text{Ci/kg}$ devant être manipulée avec assistance de la radioprotection et dont la destination doit être examinée par celui-ci.

Une consigne générale avait été affichée et diffusée précisant qu'« avant d'usiner une pièce marquée d'un trèfle (jaune ou rouge), il convenait de faire appel dans tous les cas, au Service des Mesures Physiques de Radioprotection ».

Pour l'étude du risque lié au découpage, à l'usinage et au stockage définitif des matériaux activés, on a été conduit à faire un rapprochement entre les activités massiques et les normes. Pour ce faire, on a comparé les activités maximales absorbables (A.M.A.) avec les activités massiques de nos matériaux. Ainsi, on a pu constater que pour les isotopes les plus radiotoxiques, en l'occurrence le ^{22}Na pour l'aluminium et le ^{60}Co pour le fer et le cuivre, la masse équivalente à l'A.M.A. trimestrielle la plus sévère, pour $2 \mu\text{Ci/kg}$, était sensiblement la même et de l'ordre de :

2,6 kg dans le cas de l'inhalation; et 27,5 kg pour l'ingestion.

A partir de ces résultats, il a été possible de prendre des décisions utiles quant au découpage et à l'usinage d'une part et d'apprécier, pour les matériaux très peu activés, le faible niveau de nuisance pour les éléments remis dans le secteur public, après accord du S.C.P.R.I.

L'expérience acquise au cours du démantèlement de notre accélérateur nous amène à conclure à la nécessité de prévoir dès que possible, en plus des techniques de démontage proprement dites, les réactions psychologiques des personnels et le devenir des matériaux activés.

Pour ce qui concerne les réactions psychologiques, il conviendra de sécuriser le personnel en s'attachant à assurer le suivi du travail présentant un risque réel par la présence quasi continue d'un responsable technique hautement qualifié, assisté de techniciens de radioprotection compétents. Autant que possible, on fera appel à des volontaires et on portera à la connaissance des personnels, au fur et à mesure, les résultats des contrôles des équivalents de dose.

Différentes solutions sont envisageables quant au devenir des matériaux activés provenant des accélérateurs de particules. On proposera ici, pour les matériaux les plus actifs (ceux ayant été soumis aux particules accélérées

elles-mêmes) de les traiter comme des déchets radioactifs. Pour tous les autres éléments activés, représentés par des volumes très importants et des activités massiques généralement très faibles, on envisagera successivement :

- la réutilisation au sein du laboratoire lui-même en prenant, bien entendu les précautions qui s'imposent;

- rechercher, au sein d'un pool qu'il convient de créer, le réemploi contrôlé;

- examiner avec le S.C.P.R.I., si, sous certaines conditions, des matériaux à très faible activité spécifique peuvent être remis dans le secteur public avec son accord.

De ces trois voies, nous insisterons plus particulièrement sur celle du pool qui devrait être, à notre avis, mis sur pied avec le concours d'établissements situés même au-delà de nos frontières. Il faut savoir par exemple que notre institut, pour la réalisation des protections du nouvel accélérateur, doit récupérer des éléments très peu activés de l'accélérateur Saturne I en cours de démantèlement.

Aux voies déjà évoquées, il serait intéressant de pouvoir en ajouter une quatrième : le retraitement. Il nous apparaît que, paradoxalement, les pièces les moins actives (en-dessous de $2 \mu\text{Ci/kg}$ environ) sont celles qui posent le plus de difficultés à ceux qui ont à conduire un démantèlement et qu'il conviendrait de rechercher des solutions plus satisfaisantes à long terme tant du point de vue économique qu'écologique. On peut penser, en effet, que le retraitement, par une métallurgie plus appropriée de ces matériaux visant d'abord à réduire leur activité massique, pourrait être intéressant. En s'attachant ainsi à réduire l'activité massique, on pourrait diminuer considérablement les volumes (tuyauteries, par exemple) récupérer en vue d'un réemploi des métaux qu'il est moyenâgeux, dommage, simpliste et coûteux de rejeter tels quels aux déchets radioactifs alors qu'il n'y a pas de radioéléments à période très longue et que le stockage pose plus de problèmes qu'il n'en résout (dégradation dans le temps, etc.). On peut faire mieux qu'une espèce de « terril », même bétonné.

Cette question est posée au monde de la radioprotection à propos d'un accélérateur. Sans aucun doute, elle mérite un effort de recherche technique important, étant donné la perspective de démantèlement des centrales nucléaires et aussi de grands accélérateurs qui appelle des solutions à une bien plus grande échelle. Il faut, peut-être, revoir l'état d'esprit qui consiste d'abord à penser contamination de surface, alors que, pour beaucoup de matériaux, la maîtrise de l'activité massique est probablement une voie de travail permettant de mieux juguler les nuisances secondaires à un démantèlement. Le nucléaire pourrait être plus écologique encore.